

Jaakko Ylikoski

# Tulostuspään suunnittelu 3D-tulostimeen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Ajoneuvotekniikka

Insinöörityö

14.5.2018

Tekijä Otsikko	Jaakko Ylikoski Tulostuspään suunnittelu 3D-tulostimeen
Sivumäärä Aika	24 sivua + 1 liite 14.5.2018
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Ajoneuvotekniikka
Ammatillinen pääaine	Ajoneuvosuunnittelu
Ohjaajat	Lehtori Pekka Salonen Toimitusjohtaja Petri Vuorinen, Akumat Oy
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin Akumat Oy:n toimeksiannosta. Akumat Oy on Maskussa sijaitseva projektitalo, joka myy muun muassa 3D-tulostuspalveluja. Työn tavoitteena oli suunnitella konseptimalli tulostuspäästä, joka olisi yhteensopiva Akumat Oy:n 3D-tulostimeen. Kyseinen tulostin on ollut käytössä syksystä 2016 alkaen. Käytön aikana alkuperäisessä tulostuspäässä on ilmennyt muutamia ongelmia, jotka pyritään ratkaisemaan uuden tulostuspään suunnittelussa.</p> <p>Työssä perehdyttiin ensin toimeksiantajan 3D-tulostimen rakenteeseen ja toimintaperiaatteeseen. Seuraavaksi työssä listattiin toimeksiantajan kanssa ennalta sovitut toiveet ja vaatimukset, jotka suunniteltavassa tulostuspäässä tulisi toteuttaa. Vaatimusten ja toiveiden lisäksi tulostuspää pyrittiin suunnittelemaan alkuperäistä tulostuspäätä pienemmäksi, tehokkaammaksi ja tulostustarkkuudeltaan entistä paremmaksi. Tämän jälkeen tulostuspäätä mallinnettiin kolmiulotteinen malli kaikkine tarvittavine osineen. Mallinnuksessa käytettiin Autodesk Inventor Professional 2016 -ohjelmaa.</p> <p>Lopputuloksena syntyi konseptimalli uudesta tulostuspäästä, joka on alkuperäistä tulostuspäätä huomattavasti pienempi ja näin ollen myös tehokkaampi. Mallinnetun konseptimallin tiedoston pohjalta voidaan valmistaa uusi tulostuspää.</p>	
Avainsanat	3D-tulostin, FDM-tekniikka, tulostuspää, suunnittelu

Author Title	Jaakko Ylikoski Design of a Printing Head to a 3D Printer
Number of Pages Date	24 pages + 1 appendix 14 May 2018
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automotive Engineering
Professional Major	Automotive Design Engineering
Instructors	Pekka Salonen, Senior Lecturer Petri Vuorinen, CEO of Akumat Oy
<p>This final study was commissioned by Akumat Oy. Akumat Oy is a project management office located in Masku and one of its business ideas is to offer 3D printing services. The aim of this study was to design a concept model for a printing head which would fit to the 3D printer of Akumat Oy. The 3D printer has been used since the fall of 2016. While using the printer there has been encountered some problems and deficiencies in the operation of the printing head. These problems and deficiencies were attempted to be solved or at least diminished their effect in this study.</p> <p>The study was carried out followingly. Firstly, the structure and working principles of the 3D printer of Akumat Oy were presented. Secondly, the requirements and the wishes, which were supposed to be implemented in the new printing head, were listed. Additionally, a secondary aim was to design the new printing head more compact than the original printing head. Thirdly, the 3D model of a new printing head was designed by using Autodesk Inventor Professional 2016 -software in order to be able to be utilized for further improvements.</p> <p>As a result, the concept model of the new printing head was designed and it was significantly smaller and thus more efficient than the original printing head. This CAD-file of the concept model can be used for the manufacturing the new printing head.</p>	
Keywords	3D Printer, FDM Technology, Printing Head, Design

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Työn taustat	1
2.1	FDM-tekniikka	1
2.2	Akumat Oy:n 3D-tulostin	4
3	Työn tavoitteet ja vaatimusmäärittelyt	5
3.1	Työn tavoitteet	5
3.2	Vaatimuslista	5
4	Suunnitteluprosessi	7
4.1	Referenssit	7
4.2	Ideointi	8
4.2.1	Runko	8
4.2.2	Langansyöttö	9
4.2.3	Suuttimien korkeudensäätö	10
4.2.4	Jäähdytys	10
4.2.5	Keinumekanismi	12
5	Mallinnus	13
5.1	Vesikanavat	13
5.2	Askelmoottorit	16
5.3	Kiristinrulla	17
5.4	Suuttimet ja suutinputket	18
5.5	Keinun akseli	18
5.6	Lämmityselementit	20
6	Yhteenveto ja pohdinta	21
	Lähteet	24
	Liitteet	
	Liite 1. Vaatimuslista	

## Lyhenteet

3D	Three Dimensional. Kolmiulotteinen.
FDM	Fused Deposition Modeling. 3D-tulostusmenetelmä, jossa termoplastinen tulostusmateriaali pursotetaan kuumen suuttimen läpi.

## 1 Johdanto

Tämä opinnäytetyö tehtiin Akumat Oy:n toimeksiannosta. Akumat Oy on Maskussa sijaitseva projektitalo, jonka liikeideana on valmistaa asiakkaalle prototyyppejä, uusien tuotteiden 0-sarjoja tai projektiluontoisia tuotantosarjoja teollisuudelle (1). Yritys on perustettu vuonna 2007 ja sen liikevaihto oli 26 000 euroa vuonna 2014 (2).

Akumat Oy:llä on omavalmisteinen, FDM-tekniikalla (Fused Deposition Modeling) toimiva 3D-tulostin. Tulostin on ollut käytössä syksystä 2016 lähtien ja käytön aikana on ilmennyt muutamia ongelmia ja puutteita tulostuspäässä, jonka suunnitteluun ja tuotekehittelyyn tässä työssä paneudutaan. Työn tavoitteena oli suunnitella uusi tulostuspää Akumat Oy:n 3D-tulostimeen. Uudesta tulostuspäästä oli tarkoitus mallintaa konseptimalli ja laatia siitä tarvittavat dokumentit toimeksiantajalle.

Työssä tutustutaan ensin kyseisen 3D-tulostimen rakenteeseen ja toimintaperiaatteen. Sen jälkeen perehdytään työn tavoitteisiin ja tulostuspään ominaisuuksien vaatimuksiin. Neljännessä luvussa kerrotaan suunnittelun eri vaiheista ja siitä, miten vaatimukset saataisiin toteutettua. Viidennessä luvussa kerrotaan tulostuspään kolmiulotteisen mallinnuksen eri vaiheista. Viimeisessä luvussa käsitellään opinnäytetyön yhteenvedo, jossa pohditaan, miten hyvin tavoitteet saavutettiin ja täyttyikö toimeksiantajan asettamat vaatimukset. Yhteenvedossa pohditaan myös mahdollisia jatkokehittelyn aiheita ja opinnäytetyön synnyttämiä kokemuksia sekä sen tuomia oppeja.

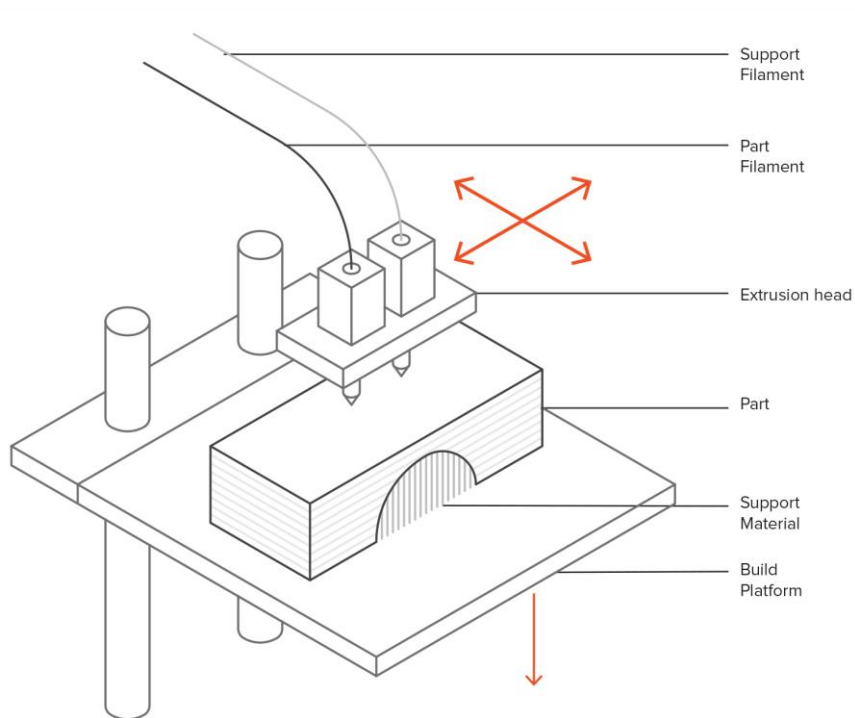
## 2 Työn taustat

### 2.1 FDM-tekniikka

FDM-tekniikka (Fused Deposition Modeling) on 3D-tulostuksen menetelmä, joka kuuluu materiaalia pursottavaan 3D-tulostustekniikkaan. FDM-prosessissa kappale valmistetaan muovilangasta syöttämällä sitä tulostuspäähän, jossa lanka sulatetaan ja pursotetaan suuttimen läpi tulostusalustalle. Ensin tulostimeen asetetaan halutun tulostusmateriaalin lankakela, josta sitä saadaan syötettyä tulostuspäähän. Kun suutin on lämmennyt riittävän kuumaksi, tulostuslankaa aletaan syöttämään tulostuspään suuttimeen, jossa

lanka sulaa. Sulatettu materiaali pursotetaan ohuena säikeenä ja valutetaan kerros kerrokselta ennalta määrättyihin paikkoihin, jossa se jäähtyy takaisin kiinteäksi. (3)

Tulostuspää on kiinnitetty kolmiakseliseen järjestelmään, jossa sitä voidaan liikuttaa X-, Y- ja Z-akselin suunnassa (3). Useissa malleissa tulostuspäätä liikutetaan X- ja Y-suunnassa ja tulostusalustaa Z-suunnassa, kuten Akumat Oy:n tulostimessakin. Alla olevasta kuvasta (kuva 1) nähdään tyypillisen FDM-tulostimen rakenne. Liikkeet voidaan kuitenkin toteuttaa monella eri tavalla. Esimerkiksi tamperelainen Prenta Oy on kehittänyt liukuhihnalle tulostavan 3D-tulostimen, jossa pystyliikkeen Z-akseli on korvattu 45 asteen kulmassa olevalla Y-akselilla. Liukuhihnalla tulostusalustaa liikutetaan puolestaan pystyliikkeen sijasta vaakasuunnassa. (4)



Kuva 1. Tyypillisen FDM-tulostimen rakenne (3).

Tulostuslankaa täytyy myös jäähdyttää. Jäähdytyksen tarkoituksena on estää langan sularintaman eteneminen suuttimelta ylöspäin. Jäähdytyksellä varmistetaan, että tulostuslanka pysyy jäykkänä ja kiinteänä mahdollisimman lähellä suutinta, jotta suuttimeen saataisiin tarpeeksi pursotuspainetta. Jos lankaa ei jäähdytetäisi, sen sularintama etenisi

suutinputkeen aiheuttaen suutinputken tukkiutumisen ja pursotuspaineen häviämisen. Useimmat FDM-tulostimien tulostuspäät ovat ilmajäähdytteisiä, mutta myös nestejäähdytteisiä tulostuspäitä on saatavilla. Jäähdytystä voidaan myös nopeuttaa kohdistamalla tuulettimen puhallus suuttimen kärkeen (3). Materiaalin nopeampi jäähtyminen mahdollistaa niin sanotun siltarakenteen muodostamisen, jolloin materiaalia voidaan tulostaa pieniä määriä tyhjän päälle. Siltarakenteen ansiosta tukimateriaalin käyttöä voidaan vähentää ja onttojen rakenteiden muodostaminen on helpompaa.

Langansyöttö toteutetaan tavanomaisesti hammaspyörällä varustetulla askelmoottorilla ja kiristinrullalla. Kiristinrullana käytetään yleensä pientä kuulalaakeria, jonka tehtävänä on painaa tulostuslankaa hammaspyörää vasten. Tulostusmateriaalien rakenteelliset ominaisuudet ovat kuitenkin erilaisia esimerkiksi kovuuden suhteen, minkä vuoksi kiristinrullan tekemä paine voi vaurioittaa pehmeitä tulostuslankoja. Tämän vuoksi kiristinrulla on yleensä jousikuormitteinen ja joissakin ratkaisuissa jousikuorma on säädettävissä säätöruuvilla. Säädöllä saadaan optimoitua kiristinrullan tekemä paine sopivan suuruiseksi eri tulostusmateriaaleille.

Monimutkaisten rakenteiden tulostamiseen tarvitaan yleensä myös tukimateriaalia. Yhdellä suuttimella varustetulla tulostuspäällä tukimateriaali voidaan tulostaa samasta materiaalista kuin valmistettava kappalekin. Tämä voi kuitenkin aiheuttaa ongelmia tukimateriaalin poistamisessa valmiista kappaleesta, koska tuki- ja perusmateriaali ovat niin lujasti kiinni toisissaan. Tukimateriaalin irrottamiseen on kuitenkin olemassa myös helpompi tapa, mutta se vaatii kaksi erillistä suutinta. Kahdella suuttimella varustetulla tulostuspäällä voidaan perusmateriaalin lisäksi tulostaa hauraampaa tukimateriaalia, joka on helposti irrotettavissa valmiista kappaleesta. Jotkut tukimateriaalit ovat vesiliukoisia, mikä helpottaa entisestään sen irrottamista.

FDM-menetelmässä tulostusmateriaaleina toimivat termoplastiset polymeerit, joista yleisimpiä ovat esimerkiksi

- PLA (polylaktidi)
- ABS (akryliniitrilibutadienistyreeni)
- nailon
- PETG (amorfinen polyesteri)
- TPU (termoplastinen polyuretaani)
- PEI (polyeetteri-imidi). (3)



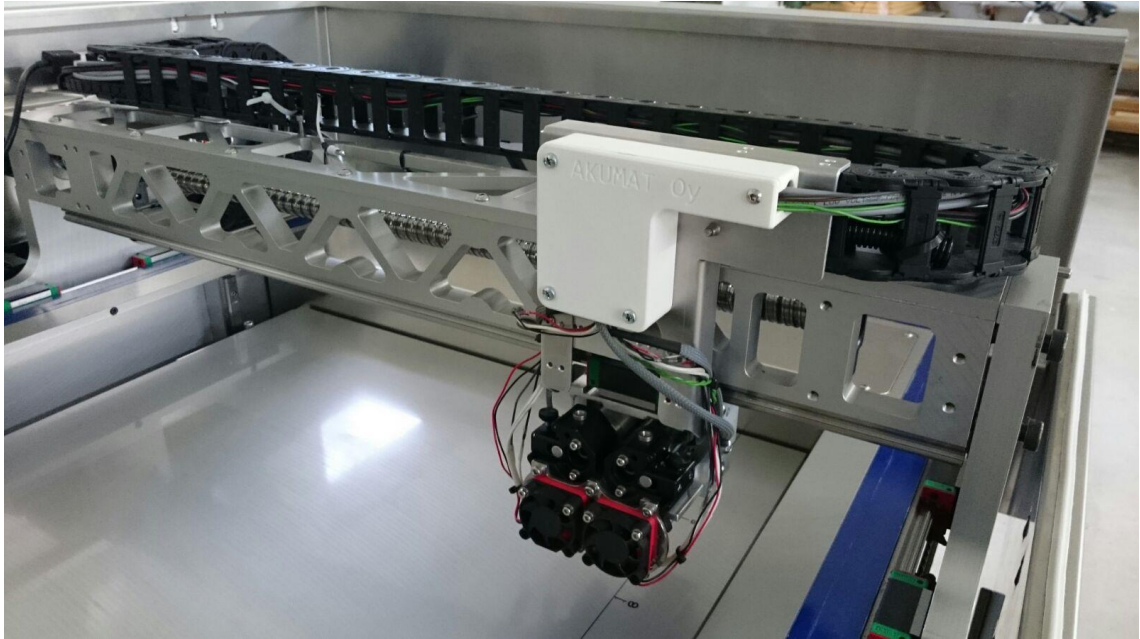
## 2.2 Akumat Oy:n 3D-tulostin

Vuonna 2015 Akumat Oy alkoi suunnitella ja rakentaa 3D-tulostintaan omavalmisteisesti, koska markkinoilta ei löytynyt riittävän suurta ja tarkkaa 3D-tulostinta. Akumat Oy:n 3D-tulostin (kuva 2) poikkeaa tavanomaisista FDM-tulostimista siten, että ohjaus tapahtuu askelmoottoreiden sijasta servomoottoreilla. Liikkeet välitetään kuularuuvien ja kuulamutterien avulla eri akseleille. Johteina käytetään johdekiskoa ja johdekelkkaa. Runkomateriaalina on käytetty esikoneistettua alumiinilevyä, josta myös tulostusalusta on tehty. Tulostusalusta on varustettu lämmitysvastuksella, jonka avulla voidaan kompensoida tulostettavan kappaleen lämpötilaeroja. Tulostusala on 850 x 450 x 450 mm, mikä on verrattain suuri markkinoilla oleviin tulostimiin nähden. Tulostimen mekaaninen tarkkuus on  $\pm 0,005$  mm. Valmistettujen kappaleiden mittatarkkuus on 0,1–0,2 mm välillä riippuen kappaleen koosta ja siinä käytetystä tulostusmateriaalista. (1)



Kuva 2. Akumat Oy:n 3d-tulostin. Tulostus tapahtuu kuvassa näkyvien alumiinisermien ja lasikannen sisällä suljetussa tilassa. (5)

Alkuperäisen tulostuspään (kuva 3) komponentit on hankittu israelilaiselta Micron 3DP:ltä, joka valmistaa FDM-tekniikalla toimivia tulostuspäitä. Tulostuspää on varustettu kahdella suuttimella, ja molemmille suuttimille on oma vaihteistolla varustettu askelmootorikäyttöinen langansyöttö.



Kuva 3. Akumat Oy:n 3D-tulostimen alkuperäinen tulostuspää. Tulostuspää on kiinnitetty Y-liikkeen puomiin. (Kuva: Akumat Oy)

### 3 Työn tavoitteet ja vaatimusmäärittelyt

#### 3.1 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena oli suunnitella omavalmisteinen tulostuspää Akumat Oy:n 3D-tulostimeen. Tulostuspästä laadittiin asianmukaiset dokumentit ja kokoonpanomalli kaikkine yksityiskohtineen. Tärkeimmät vaatimukset koskevat suuttimien mekaanista korkeudensäätöä ja jäähdytystä. Lisäksi tulostuspään suunnittelussa yleisenä tavoitteena oli pienentää sen kokoa ja kehittää sen käyttöä yksinkertaisemmaksi.

#### 3.2 Vaatimuslista

Tulostuspään ominaisuuksista laadittiin vaatimuslista (liite 1), jossa lyhyesti kerrotaan suunniteltavan tulostuspään tekniset ja rakenteelliset vaatimukset. Vaatimuslista koostuu vaatimuksista ja toiveista. Vaatimukset on merkitty kirjaimella "V" ja toiveet vastavasti kirjaimella "T". Vaatimuslistan tarkoituksena on olla selkeä lista työn vaatimuksista, joista toimeksiantajan kanssa on sovittu työn alkuvaiheessa.

Vaatimuslistassa ensimmäisenä vaatimuksena mainitaan, että tulostuspäässä on oltava kaksi suutinta, joilla voidaan tulostaa samanaikaisesti. Tämä tarkoittaa sitä, että toisella suuttimella voitaisiin tulostaa perusmateriaalia ja toisella suuttimella tukimateriaalia. Molemmille suuttimille on oltava myös oma askelmoottorikäyttöinen langansyöttö.

Toisena vaatimuksena mainitaan suuttimien mekaaninen korkeudensäätö, jonka tarkoituksena on nimensä mukaisesti mahdollistaa suuttimien korkeudensäätö mekaanisesti. Säätöä tarvitaan asetettaessa suuttimet samalle korkeudelle. Säätötarkkuus on oltava vähintään  $\pm 0,01$  mm.

Vaatimuslistan kolmantena kohtana mainitaan suuttimien ajonaikainen korkeudensäätö, jonka ideana on nostaa levossa oleva suutin operoivaa suutinta ylemmäksi, jotta levossa oleva suutin ei törmäisi tulostettavaan kappaleeseen. Tämä ominaisuus oli aluksi merkitty vaatimukseksi. Projektin aikana toimeksiantajalta tuli kuitenkin tieto, ettei ajonaikainen korkeudensäätö ole välttämätön, koska suuttimen törmäyksiä tulostettavaan kappaleeseen ei synny, vaikka ne ovatkin samalla korkeudella. Tämän asian tullessa ilmi, ajonaikainen korkeudensäätö muutettiin toiveeksi vaatimuslistassa.

Neljäntenä vaatimuksena mainitaan tulostuslangan jäähdytys, joka on tulostimen toiminnan kannalta välttämätön ominaisuus. Jäähdytyksen tehtävä on estää tulostuslangan sularintaman eteneminen suuttimelta ylöspäin. Jäähdytyksen toteutustavalle asetettiin toive, jossa mainitaan, että tulostuspäästä voisi tehdä nestejäähdysteisen paremman jäähdystystehon ja kompaktimman rakenteen saavuttamiseksi.

Vaatimuslistan viidentenä kohtana mainitaan tulostetun materiaalin jäähdytys, joka on merkitty toiveeksi. Tämän ominaisuuden ideana on nopeuttaa tulostetun materiaalin jäähtyminen sen jälkeen, kun se on valunut suuttimesta ulos. Nopeampi jäähtyminen mahdollistaisi siltarakenteen tulostamisen.

Kuudentena vaatimuksena mainitaan lämmityselementit. Lämmityselementin tehtävä on välittää siihen johdettu lämpöenergia suuttimille. Suutin kiinnitetään lämmityselementtiin, johon kytketään lämmitysvastus ja lämpötila-anturi.

Seitsemäs vaatimus koskee tulostusalustan tasomaisuuden mittausta. Akumat Oy:n tulostimen tulostusalusta on varustettu lämmitysvastuksella, joten alustan tasomaisuus ei pysy vakiona lämpölaajenemisen takia. Tämän vuoksi alustan tasomaisuus täytyy mitata

ennen tulostuksen aloittamista. Tasomaisuuden mittausta suoritetaan samalla periaatteella kuin alkuperäisessäkin tulostuspäässä sillä erotuksella, että alkuperäisessä tulostuspäässä käytetty rajakytkin korvataan Omron D5A-3200 -tarkkuuskytkimellä (kuva 4). Tarkkuuskytkimellä tulostusalustan tasomaisuus saataisiin mitattua entistä tarkemmin.



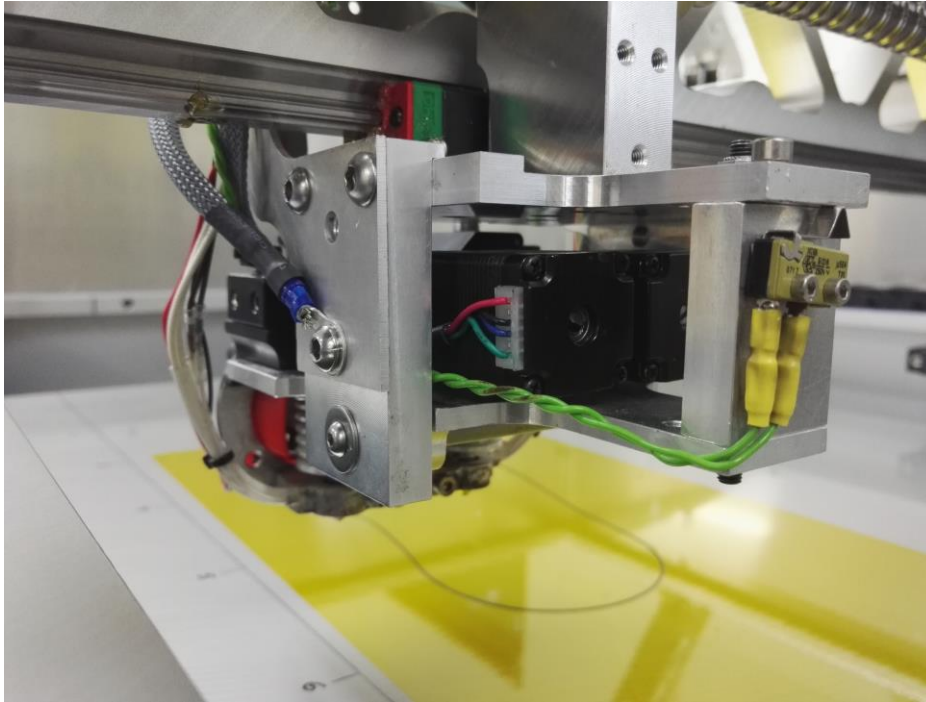
Kuva 4. Omron D5A-3200 -tarkkuuskytkin (6).

## 4 Suunnitteluprosessi

Tulostuspään ominaisuuksista laadittiin aluksi käsin piirrettyjä luonnoksia, joiden avulla omat ideat saatiin ilmaistua palaverissa. Palaverissa luonnoksia vertailtiin ja niistä valittiin ideat, joita päätettiin lähteä toteuttamaan. Tässä luvussa luetellaan tulostuspään keskeisimpien ominaisuuksien ideat ja toimintaperiaatteet.

### 4.1 Referenssit

Suunnittelun aloitettaessa tiedettiin, että tulostuspää kiinnitetään Y-liikkeen puomiin samalla tavalla kuin alkuperäinenkin. Tulostuspään apurunko kiinnitetään y-liikkeen puomin johdekelkkaan ja kuulamutterin korvakkeeseen (kuva 5). Johdekelkka ja korvake toimivat siis ensimmäisinä referensseinä. Toisena rajoittavana tekijänä on alkuperäisen tulostuspään korkeus tulostusalustasta runkolevyn alapintaan, joka on (noin) 90 mm. Tätä korkeutta pyritään lyhentämään tai pitämään vähintään samansuuruisena.



Kuva 5. Alkuperäinen tulostuspään takaosa. Askelmoottorien yläpuolella oleva alumiinilevy on kiinnitetty kuulamutterin korvakkeeseen sekä johdekelkkaan.

## 4.2 Ideointi

Lähtökohtien ollessa selvillä voitiin aloittaa rakenteen ja mekanismien ideointi. Ideoinnin avulla pyrittiin saamaan selkeä kokonaiskuva, jossa tulostuspään komponentit olisi pääpiirteittäin omalla paikallaan. Ideoimalla yritettiin saada myös käsitys komponenttien vaatimasta tilasta.

Tulostuspää pyrittiin suunnittelemaan alkuperäistä tulostuspäätä pienemmäksi ja kevyemmäksi. Tästä syystä rungon valmistaminen 3D-tulostamalla koitui hyväksi valmistustekniikaksi, sillä 3D-tulostamalla runkoon saadaan integroitua jäähdytyskanavat, askelmoottorien kiinnityslaipat ja keinuakselin reikä.

### 4.2.1 Runko

Uuden tulostuspään prototyyppi päätettiin valmistaa muovista Akumat Oy:n omalla tulostimella. Virallinen ja lopullinen malli oli tarkoitus valmistaa 3D-tulostamalla alumiinista. Muovisen protomallin tarkoitus on varmistaa liikkeiden ja mekanismien toimivuus. Koska runko valmistetaan tulostamalla, se antaa tietynlaisia vapauksia muotoilun ja rakenteen

suhteen. 3D-tulostamisen mahdollistamia etuja pyrittiin hyödyntämään muun muassa integroimalla komponentteja, jotka tavanomaisessa tulostuspäässä ovat irrallisia. Komponenttien integroiminen tekee tuotteesta kiinteämmän, kevyemmän ja kompaktimman kokonaisuuden.

#### 4.2.2 Langansyöttö

Langansyöttö toteutetaan askelmoottorikäyttöisen vetopyörän ja kiristinrullan avulla. Vetopyörien askelmoottorit on hankittu alkuperäisen tulostuspään valmistajalta, Micron 3DP:ltä, ja ne ovat vaihteistolla varustettuja. Askelmoottorit vaihteistoineen sekä vetopyörineen ovat toimeksiantajan mukaan toimineet hyvin ja moitteetta, joten ne päätettiin asentaa myös uuteen tulostuspäähän. Askelmoottorit olivat alkuperäisessä tulostuspäässä X-suunnassa vierekkäin Y-liikkeen puomin alapuolella. Moottoreiden ollessa puomin alla ne veivät paljon tilaa pystysuunnassa. Ideoinnissa syntyikin ensin ajatus pystyssä olevista askelmoottoreista Y-liikkeen puomin etupuolella, mutta se olisi vaatinut kulmavaihteen, jotta vetopyörät saataisiin X- tai Y-suuntaisiksi. Tämän jälkeen ainoaksi vaihtoehdoksi jäi vastakkain olevat askelmoottorit, jotka olisivatkin Y-puomin suuntaisesti johdekiskon vieressä. Näin ollen askelmoottorit päätettiin asettaa vastakkain, jolloin niitä saatiin nostettua noin 10 mm ja suutinväliä saatiin lyhennettyä 46 millimetristä 28 millimetriin.

Kiristinrullan suunnittelussa ensisijaisena ehtona oli, että kiristinrullan säätö olisi mahdollisimman yksinkertainen ja helppokäyttöinen. Säädön täytyisi onnistua yhdellä ruuvilla. Tältä pohjalta lähdettiin kehittämään ideaa, jossa paininjousi asetettaisiin säätöruuvin ympärille. Jousen kuormaa voisi säätää esimerkiksi siipimutterilla. Kiristinrullan tarkempi rakenne suunniteltiin vasta mallinnuksen yhteydessä. Kiristinrullan mekanismi koostuu kahdesta alikokoonpanosta: varresta ja säätöruuvista. Varteen kiinnitetään kiristinrulla, sen akseli sekä saranatappi. Varsi kiinnitetään tulostuspään runkoon saranatapilla, jonka ympäri vartta voidaan kääntää. Säätöruuvi koostuisi puolestaan jousesta, säätömutterista, aluslevystä, säätöruuvista ja vastamutterista. Säätöruuvi kiinnitettäisiin vastamutteriin, joka puolestaan asetettaisiin tulostuspään rungon yläosaan tehtyyn reikään. Näin säätöruuvi saadaan runkoon kiinni ja sitä voidaan liikuttaa vastamutterin akselin ympäri, mikä mahdollistaa kiristinrullan vapauttamisen helposti ja nopeasti. Säätöruuvin ympärille laitetaan aluslevy, jousi ja säätömutteri, joiden avulla varsinainen säätö tehdään.

#### 4.2.3 Suuttimien korkeudensäätö

Kuten vaatimuslistassa (liite 1) mainitaan, suuttimien mekaanisen korkeudensäädön säätötarkkuus tulisi olla vähintään  $\pm 0,01$  mm. Mekaanista korkeudensäätöä tarvitaan, kun suuttimet säädetään samalle korkeudelle. Säätö suoritettaisiin siten, että perusmateriaalin suutin toimisi referenssisuuttimena/nollasuuttimena ja se asetettaisiin aina samalle korkeudelle. Tukimateriaalin suutin säädettäisiin sen jälkeen perusmateriaalin kanssa samalle korkeudelle.

Suuttimien mekaaninen korkeudensäätö päätettiin toteuttaa siten, että suutinputkea ruuvaamalla myötä- tai vastapäivään säädetään korkeus. Tämän jälkeen korkeus lukitaan kiristämällä lämmityselementti suuttimen ympärille. Lämmityselementin pyöriminen estetään  $\varnothing 2$  mm:n pinnatapilla, joka toimii lämmityselementin johdekiskona sallien sen pystysuuntaisen liikkeen. Pinnatappi kiinnitetään tulostuspäähän pystysuuntaisesti. Tällä saavutetaan yksinkertainen ja varmatoiminen korkeudensäätö, joka ei vaadi ylimääräisiä liikkuvia elementtejä.

Ajonaikaisessa korkeudensäädössä suuttimien korkeuseron tulisi olla 0,2–0,5 mm:n välillä. Ajonaikaisen korkeudensäädön ideana on varmistaa, ettei levossa oleva suutin törmäisi tulostettavaan kappaleeseen. Tätä ominaisuutta ei ole alkuperäisessä tulostuspäässä. Ajonaikaista korkeudensäätöä lähdettiin aluksi suunnittelemaan keinumekanismin perustuvaan ideaan, jossa suuttimien väliin asennettaisiin akseli. Projektin aikana kuitenkin ilmeni, että suuttimet eivät törmää tulostettavaan kappaleeseen, vaikka ne ovatkin samalla korkeudella. Lisäksi keinumekanismin suunnittelussa huomattiin, että ajonaikainen korkeudensäätö vaatisi paljon liikkuvia osia, mikä puolestaan vaikuttaisi tulostimen tarkkuuteen merkittävästi. Ajonaikaisesta korkeudensäätömekanismista päätettiin näin ollen luopua.

#### 4.2.4 Jäähdytys

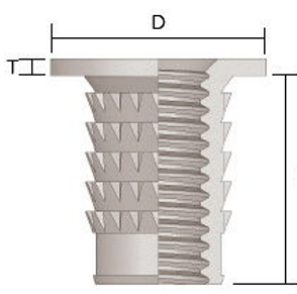
Jäähdytyksen perusideasta oltiin yksimielisiä jo projektin alkuvaiheessa. Tavoitteena oli suunnitella nestejäähdytteinen tulostuspää, koska se olisi ilmajäähdytystä huomattavasti tehokkaampi. Tulostuspään runko valmistettaisiin 3D-tulostamalla alumiinista, jolloin vesikanavien muodot olisi helposti toteutettavissa. Alumiinin hyvä lämmönjohtokyky varmistaisi tehokkaan jäähdytyksen. Prototyyppi päätettiin kuitenkin tulostaa muovista Aku-



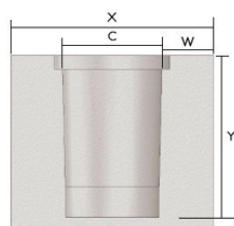
mat Oy:n omalla tulostimella. Prototyypillä on tarkoitus testata tulostuspään mekanismien toimivuus. Prototyyppi päätettiin kuitenkin valmistaa mahdollisimman hyvillä lämpöominaisuuksilla omaavasta materiaalista, jos se vaikka toimisikin. Tulostuspään muovinen prototyyppi saattaisi toimia hyvinkin. Mikäli muovinen prototyyppi kestää lämmityselementtien korkeat lämpötilat, olisi se alumiinista tulostuspäätä huomattavasti kevyempi ja edullisempi. Prototyypin tulostamisessa käytettäisiin vesiliukoista tukimateriaalia, jotta sen poistaminen olisi mahdollisimman helppoa.

Jäähdytyskanavan konstruktio suunniteltiin siten, että sisään- ja ulostuloliitännät sijoitettiin tulostuspään takaosaan. Jäähdytyskanavan halkaisija oli merkittävässä asemassa, sillä se vaikuttaa jäähdytystehoon ja tulostuspään kokoon huomattavasti. Jäähdytyskanavan profiilin suunnitteluun ei tässä projektissa käytetty aikaa, vaan profiiliksi määriteltiin Ø 8 mm:n ympyrä. Jäähdytyskanavan halkaisija määriteltiin siten, että tulostuspään korkeutta saatiin pienennettyä säilyttämällä kuitenkin hyvä jäähdytysteho.

Koska prototyyppi päätettiin valmistaa muovista, tulostuspäähän pitää asentaa kierreinserit suutinputkien kiinnitystä varten. Kierreinserit päätettiin hankkia englantilaiselta Tappex Threaded Inserts Ltd:ltä. Sopivaksi kierreinseriksi valikoitui "Multisert 003M6", jonka mitat on lueteltu alla olevassa kuvassa (kuva 6). Kuvassa 7 on lueteltu asennusreiän tekniset vaatimukset.

	Insertin mitat [mm]	
	Osanumero:	003M6
	Kierre:	M6
	Nousu:	1,00
	Olakkeen paksuus T:	1,00
	Olakkeen halkaisija D:	12,70
	Pituus L:	12,30

Kuva 6. Multisert 003M6 -kierreinseritin mitat (7).

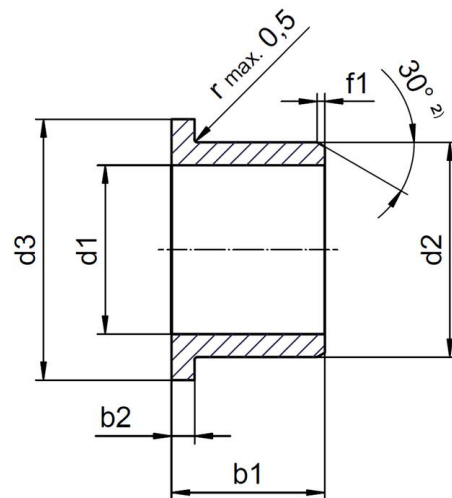
	Reiän mitat [mm]	
	Reiän halkaisija C:	7,70–8,20
	Reiän syvyys Y:	12,50
	Seinämän halkaisija X:	14,60
	Seinämän paksuus W:	3,20

Kuva 7. Multisert 003M6 -kierreinseritin vaatimat ominaisuudet asennusreiälle (7).



#### 4.2.5 Keinumekanismi

Tulostuspää päätettiin kiinnittää Ø 16 mm:n teräsakselin välityksellä apurunkoon. Akselilla mahdollistetaan tulostuspään keinuliike, jota tarvitaan tulostusalustan tasomaisuuden mittauksessa. Akseli laakeroidaan laipallisilla muovilaakereilla. Muovilaakereilla akselista saadaan lähes välyksetön. Akselin kumpaankin päähän tehdään korvakkeet, jotka puolestaan kiinnitetään apurunkoon. Kuva 8 edustaa laipallisten muovilaakereiden yleistä teknistä piirustusta ja taulukossa 1 on lueteltu keinun akselin laakeroimiseen käytettävien laakereiden mitat.



Kuva 8. Muovilaakerin tekninen piirustus, jonka mitat on mainittu alla olevassa taulukossa (taulukko 1) (8).

Taulukko 1. IGUS GFM-1618-17 -muovilaakerin mitat toleransseineen (8).

selite	tunnus	mitta [mm]	toleranssi
sisähalkaisija	d1	16,00	+0,032 +0,102 mm, E10
ulkohalkaisija	d2	18,00	
olakkeen halkaisija	d3	24,00	d13
laakerin pituus	b1	17,00	h13
olakkeen paksuus	b2	1,00	-0,14
viisteen pituus	f1	0,80	
asennusreiän Ø		18,00	0 +0,018 mm, H7

## 5 Mallinnus

Mallinnuksessa käytettiin Autodesk Inventor Professional 2016 -ohjelmistoa. Mallinnuksen referenssimallina käytettiin Akumat Oy:n laatimaa 3D-mallia, jossa oli alkuperäisen tulostuspään runko. Mallista saatiin selville kuulamutterin korvakkeen ja johdekelkan sijainti, joiden pohjalta voitiin lähteä mallintamaan uutta tulostuspäätä.

Mallintaminen suoritettiin suurimmaksi osaksi siten, että ensin mallinnettiin perusmateriaalia tulostavan puolella olevat muodot ja komponentit, minkä jälkeen ne peilattiin "Mirror"-työkalulla tukimateriaalin puolelle. Tämä toimintamenetelmä säästi todella paljon aikaa, ja tarvittavat muutokset oli helpompi tehdä. Osien yhteensopivuudet huomioitiin mittaamalla ne tarvittavien toleranssien mukaan.

Ensimmäiseksi määriteltiin sellaisten aputasojen ja akseleiden sijainti, joiden paikka oli tiedossa. XY-tasoksi määriteltiin tulostuspään rungon alapinta ja tulostuslankojen pysty-akselit kulkevat YZ-tason suuntaisesti. XZ-taso edustaa puolestaan tulostuslankojen puoliväliä, eli tulostuspään pituussuuntaista keskilinjaa. Aputasoiksi luotiin "perusmateriaalin XZ-taso" ja "tukimateriaalin XZ-taso". Perusmateriaalin XZ-tason ja YZ-tason leikkauskohtaan voitiin tehdä "perusmateriaalin akseli", joka edustaa perusmateriaalin tulostuslangan kulkemaa linjaa. Tukimateriaalin lankaa edustava akseli luotiin puolestaan tukimateriaalin XZ-tason ja YZ-tason leikkauskohtaan.

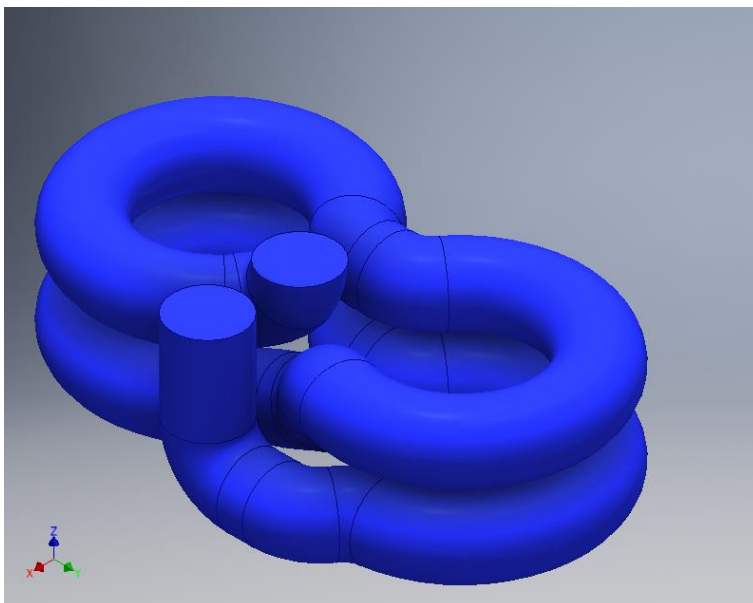
### 5.1 Vesikanavat

Tulostuspää päätettiin suunnitella nestejäähdytteiseksi, koska se oli ilmajäähdytystä tehokkaampi ja kompaktimpi. Vesikanavien vaatima tila voitiin ratkaista suutinvälin ja Multisert 003M6 -kierreinseritin ohjearvojen perusteella (kuva 7). Kierreinseritin asennusreiän ympärillä olevan seinämän ulkohalkaisija on ohjearvojen mukaan oltava vähintään Ø 14,60 mm. Koska vesikanava on Ø 8 mm, suutinputken ympärille tulevan vesikanavan keskilinjan säde on

$$r = \frac{14,6 \text{ mm} + 8 \text{ mm}}{2} = 11,3 \text{ mm}.$$

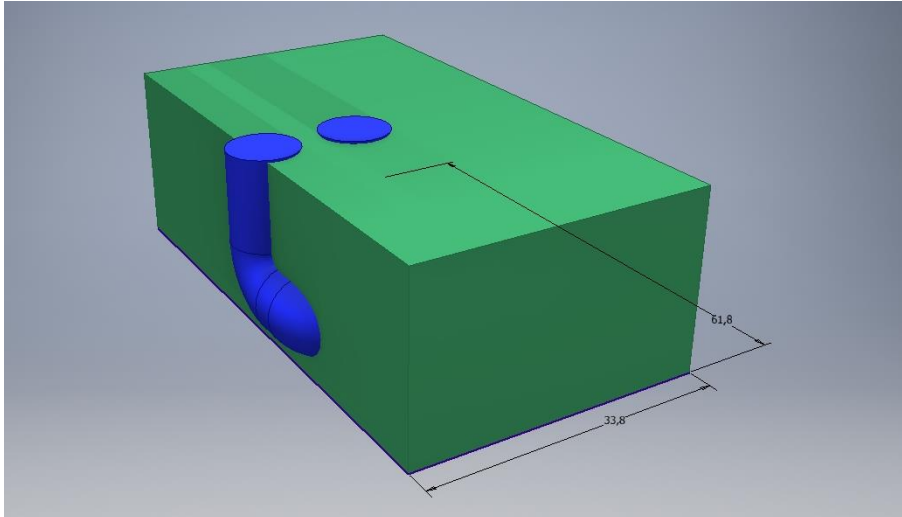
Vesikanava (kuva 9) suunniteltiin siis siten, että se kulkisi mahdollisimman lähellä jäähdytettävää suutinputkea parhaan jäähdytystehon varmistamiseksi. Suurella Ø 8 mm:n

vesikanavalla varmistettaisiin riittävä jäähdytysteho. Koska kyseessä on prototyypin suunnittelu, jäähdytysteho päätettiin määrittellä kokemuksen ja intuitiivisen ajatuksen pohjalta sen sijaan, että tarvittavan jäähdytystehon laskemiseen ja analysoimiseen olisi käytetty tarpeettomasti aikaa. Jäähdytystehon laskennalliseen analysointiin ei kannattanut käyttää aikaa, koska muovista valmistettavan prototyypin ja alumiinista valmistettavan lopullisen tulostuspään termiset ominaisuudet eroavat toisistaan merkittävästi. Toisin sanoen alumiinin lämmönjohtavuus on moninkertainen protomallin muovimateriaaliin verrattuna. Protomallin valmistukseen käytettävä materiaali kestää toimeksiantajan mukaan kuitenkin noin 180 °C, joten se kestää todennäköisesti lämmityselementtien korkean lämpötilan. Toimeksiantajan mukaan jäähdytystehon ylittämällä ei ole negatiivisia vaikutuksia tulostuspään toiminnan kannalta.



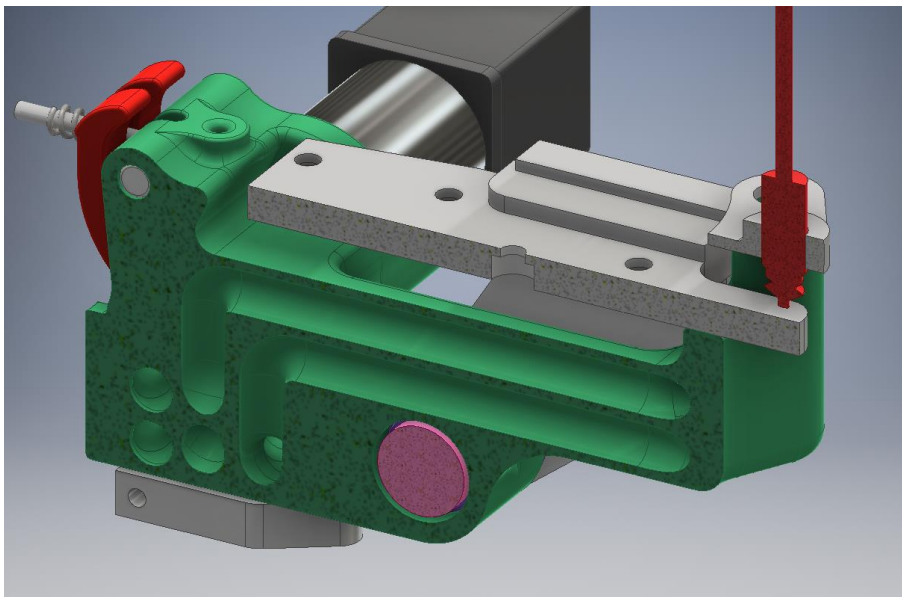
Kuva 9. Mallinnettu vesikanavan rakenne suutinputkien ympärillä. Kuvan vasemmassa alareunassa näkyy XYZ-koordinaatiston suunnat (x = punainen; y = vihreä; z = sininen). Koordinaatisto asetettiin Akumat Oy:n tulostimen koordinaatiston mukaisesti.

Vesikanavan sisään- ja ulostuloliitännät asennettaisiin tulostuspään takaosaan. Tulostuspään sisään virtaava vesi ohjataan ensin alemman vesikanavan kautta kiertäen ensin perusmateriaalin suutinputken ja sen jälkeen tukimateriaalin suutinputken. Tämän jälkeen vesikanava nousee ylemmälle tasolle ja kiertää suutinputket toiseen kertaan, minkä jälkeen vesi ohjataan takaisin tulostuspään takaosaan ulostuloliitännälle. Vesikanavan takaosa ja ulostuloliitännät mallinnettiin vasta sitten, kun muut tulostuspään muodot oli mallinnettu. Alla olevassa kuvassa (kuva 10) on mallinnettu tulostuspään runkoa vesikanavan ympärille.



Kuva 10. Vesikanavan ympärille mallinnettu suorakulmainen kotelo. Kotelon ulkomitat ovat 61,8 x 33,8 x 20,8 mm. Kotelo on mitoitettu siten, että vesikanavan ympärillä olevan seinämän paksuus on vähintään 1,6 mm.

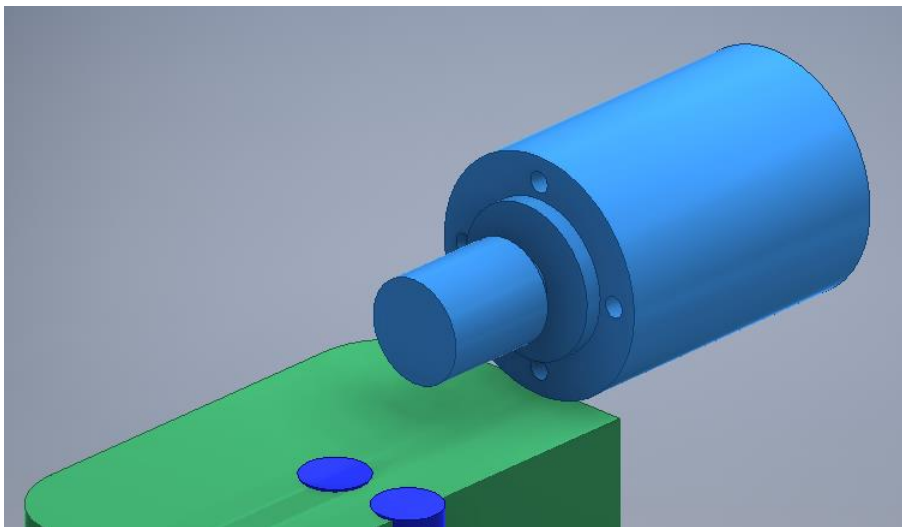
Vesiletkujen sisään- ja ulostuloliitännät sijoitettiin tulostuspään takaosaan kuulamutterin korvakkeen taakse. Liittiminä oli tarkoitus käyttää ruuvattavia pikaliittimiä, jotka ruuvattaisiin vesikanavien päihin. Pikaliittimien ja tulostuspään rungon väliin suunniteltiin lisäosa, johon tasomaisuuden mittauksessa käytettävä Omron D5A-3200 -tarkkuuskytkin kiinnitettiin. (kuva 11)



Kuva 11. Tulostuspään XZ-suuntainen poikkileikkaus, josta nähdään vesikanavan rakenne.

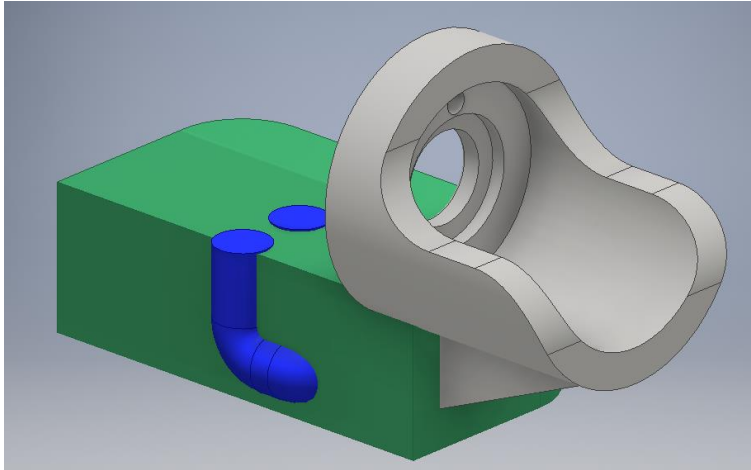
## 5.2 Askelmoottorit

Askelmoottorien paikka määriteltiin tulostuslankaa edustavan pystyakselin ja jäähdytys kotelon yläpinnan mukaan. Askelmoottorin akseli on kohtisuorassa tulostuslankaan nähden ja sen etäisyys tulostuslangasta tulee olla 6,875 mm. Tämä mitta perustuu Alkuperäisen tulostuspään mittoihin. Askelmoottorin mallinnusta varten tehtiin YZ-tason suuntainen aputaso, joka oli 6,875 mm:n päässä YZ-tasosta. Näin aputasoon saatiin piirrettyä askelmoottorin pyörähdyssymmetrinen malli (kuva 12).



Kuva 12. Askelmoottorin pyörähdyssymmetrinen rakenne mallinnettuna.

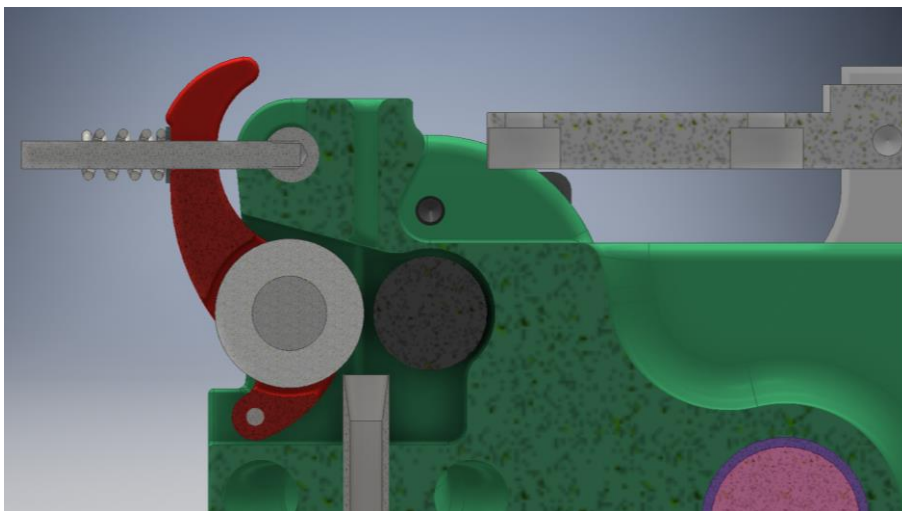
Askelmoottorit olivat muihin tulostuspään komponentteihin nähden hyvin painavat ja massiiviset, jonka vuoksi ne tarvitsivat alapuolelleen tuentaa. Tuenta mallinnettiin ensin omana osanaan, joka myöhemmin yhdistettiin tulostuspään runkoon. Tällä menetelmällä kappaleeseen voitiin tehdä reunojen pyöristykset erikseen. Reunojen pyöristykset olisivat tuottaneet ongelmia, jos tuenta olisi yhdistetty muihin rakenteisiin. Alla olevasta kuvasta (kuva 13) nähdään tuennan rakenne ennen sen reunojen pyöristyksiä ja yhdistämistä tulostuspään vihreään runkoon.



Kuva 13. Askelmoottorin tuenta.

### 5.3 Kiristinrulla

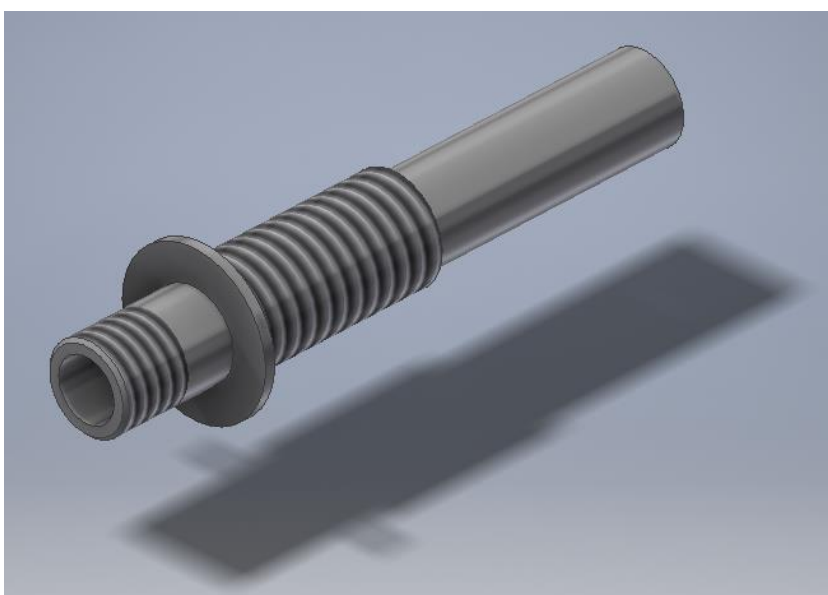
Kiristinrullan tehtävä on painaa tulostuslankaa askelmoottorin vetopyörää vasten, jotta niiden välisen kitkan ansiosta tulostuslankaa saataisiin syötettyä suuttimeen. Kiristinrulla on jousikuormitteinen, jottei se painaisi tulostuslankaa kuitenkaan liian kovalla voimalla, mikä saattaisi vaurioittaa lankaa. Kiristinrulla suunniteltiin vasta mallinnuksen vaiheessa, koska sen rakenne oli riippuvainen askelmoottorin sijainnista. Kiristinrullan varsi, joka alla olevassa kuvassa (kuva 14) on korostettu punaisella, pyrittiin suunnittelemaan helpokäyttöiseksi. Sen voi myös irrottaa tulostuspäältä esimerkiksi vetopyörän puhdistusta varten.



Kuva 14. Poikkileikkaus kiristinrullan mekanismin rakenteesta.

#### 5.4 Suuttimet ja suutinputket

Uudessa tulostuspäässä päätettiin käyttää samoja suuttimia kuin alkuperäisessäkin tulostuspäässä. Suuttimia ei siis tarvinnut suunnitella uudestaan. Suutinputkia sen sijaan jouduttiin lyhentämään yläpäästä, koska uuden tulostuspään vesijäähdytys on alkuperäistä ilmajäähdytystä matalampi. Alkuperäinen suutinputki osui kiristinrullaan ja veto-pyörään. Putken lyhentämisen lisäksi myös kierteen pituutta on lyhennettävä, koska tulostuspään runkoon kiinnitettävän Multisert 003M6 -kierreinsertin kokonaiskorkeus on vain 13,3 mm (kuva 6). Uudet suutinputket (kuva 15) saadaan valmistettua sorvaamalla vanhat suutinputket lyhyemmiksi.



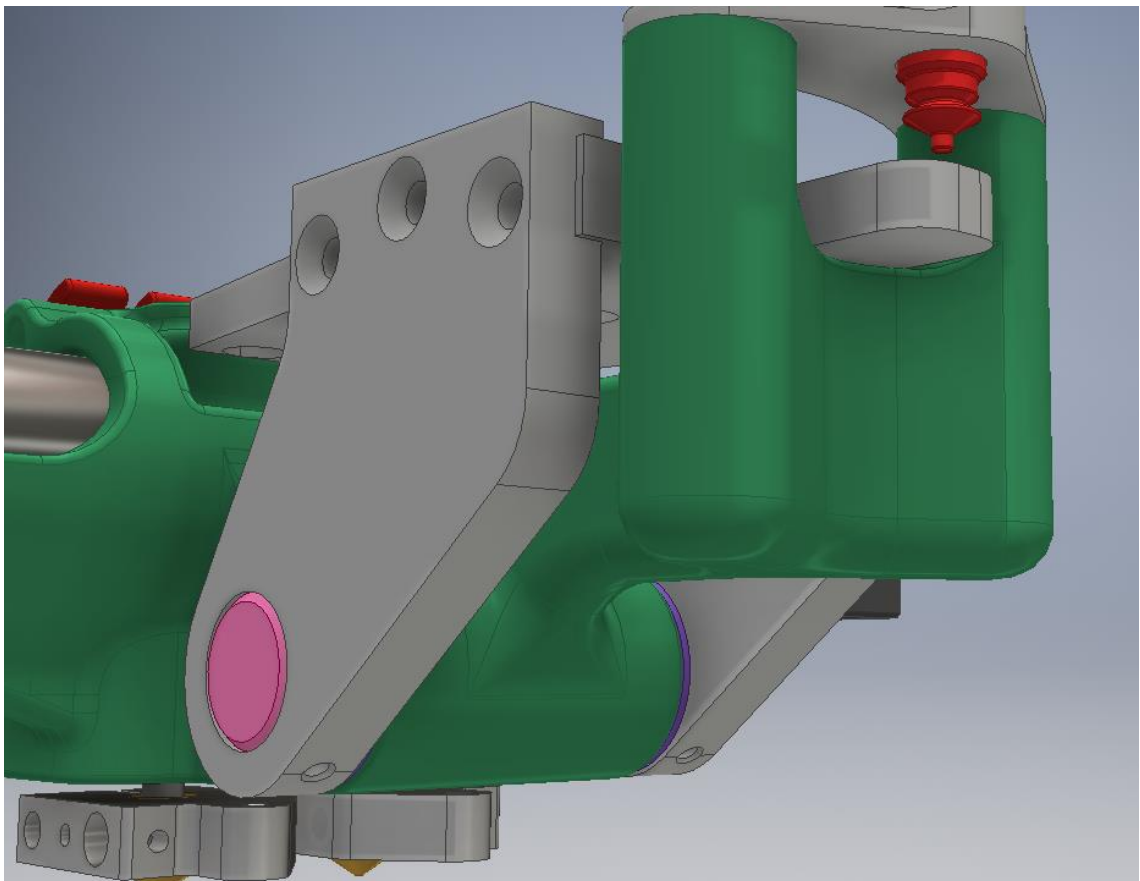
Kuva 15. Uuden tulostuspään suutinputki.

#### 5.5 Keinun akseli

Akumat Oy:n 3D-tulostimen tulostusalusta on varustettu lämmitysvastuksella, jotta tulostettavan kappaleen lämpötilaerot pysyisivät kohtuullisina. Lämmitettävässä tulostusalustassa syntyy muodonmuutoksia johtuen lämmitysvastuksen aiheuttamasta lämpölaajenemisesta. Tulostusalustan pinta ei näin ollen ole täysin tasainen. Tästä syystä tulostusalustan tasomaisuus on mitattava ennen tulostuksen aloittamista. Alkuperäisen tulostuspään runkoon oli asennettu akseli, jonka ympärillä se pääsi tekemään pientä keinuli-

kettä. Akseli oli Y-liikkeen kuularuuvien kanssa samansuuntaisesti. Tulostusalustan tasomaisuus mitattiin ajamalla tulostusalustaa ylöspäin niin kauan, kunnes se törmäsi suuttimeen. Alustan osuessa suuttimeen tulostuspää alkoi kallistumaan keinuakselin ympäri, kunnes tulostuspään takaosassa oleva rajakytkin irtosi apurungosta. Rajakytkimen irtoaminen apurungosta katkaisi tulostusalustaa nostavan Z-liikkeen ja tältä hetkeltä saatiin informaatio tulostusalustan sen hetkisestä korkeusasemasta. Tämä mittausmenetelmä oli toimeksiantajan mukaan toiminut hyvin, joten sitä päätettiin käyttää myös uudessa tulostuspäässä.

Alla olevassa kuvassa (kuva 16) vaaleanpunaisella korostettu keinuakseli, joka on kytketty keinuakselin korvakkeisiin, mahdollistaa tulostuspään keinuliikkeen. Korvakkeet kiinnitettiin apurunkoon, joka puolestaan kiinnitettiin johdekelkkaan ja kuulamutterin korvakkeeseen. Tulostuspään runkoon asennettiin laipalliset muovilaakerit, jotka yhdistävät akselin ja tulostuspään rungon.

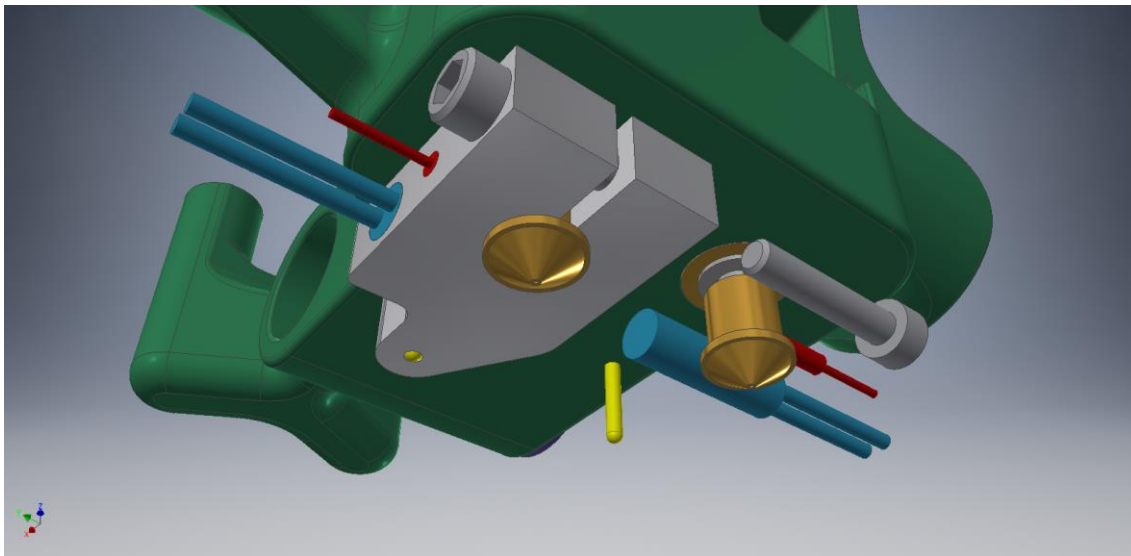


Kuva 16. Akseli (korostettu vaaleanpunaisella), joka mahdollistaa tulostuspään keinuliikkeen, luokitetaan pidätinruuveilla keinuakselin korvakkeeseen. Tulostuspään ja akselin väliin asennetaan laipalliset muovilaakerit (korostettu violetilla).



## 5.6 Lämmityselementit

Lämmityselementti on suuttimen ympärille kiinnitettävä alumiinin pala, jonka tehtävä on siirtää siihen johdettu lämpöenergia suuttimelle. Lämmityselementin pyöriminen täytyi estää ja ratkaisuna se päätettiin liittää tulostuspään runkoon kiinni Ø 2 mm:n pinnatapilla. Kun lämmityselementti kiristetään suuttimen ympärille, suutinputki ei pääse pyörimään. Alla olevassa kuvassa (kuva 17) nähdään lämmityselementin rakenne ja sen kiinnitys.



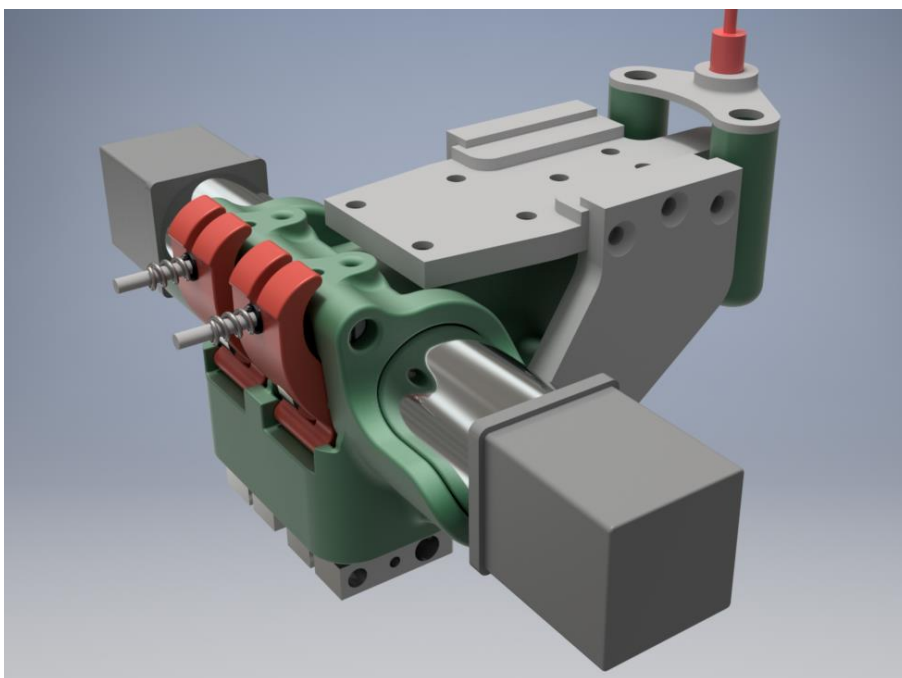
Kuva 17. Perusmateriaalin suuttimeen kiinnitettävä lämmityselementti. Tukimateriaalinpuoleinen lämmityselementti on piilotettu kuvasta, jotta lämmitysvastus (sininen), lämpötila-anturi (punainen) ja pinnatappi (keltainen) näkyisi paremmin.

## 6 Yhteenveto ja pohdinta

Tässä opinnäytetyössä suunniteltiin tulostuspään konseptimalli Akumat Oy:n 3D-tulostimeen. Työn tavoitteena oli kehittää alkuperäistä tulostuspäätä pienempi ja kevyempi tulostuspää, joka olisi myös tulostustarkkuudeltaan parempi. Lisäksi tavoitteena oli kehittää tulostuspään säätömekanismien käyttöä helpommaksi ja yksinkertaisemmaksi. Tulostuspään suunnittelussa ja mallinnuksessa käytettiin Autodesk Inventor Professional 2016 -ohjelmaa.

Työssä tutustuttiin ensin toimeksiantajan 3D-tulostimen rakenteeseen ja toimintaperiaatteeseen. Tulostuspään suunnittelua varten laadittiin vaatimuslista, jossa eriteltiin tulostuspäässä vaaditut ominaisuudet. Tulostuspää pyrittiin suunnittelemaan siten, että vaatimuslistassa luetellut asiat toteutuisivat.

Lopputuloksena syntyi uuden tulostuspään konseptimalli (kuva 18), jonka pohjalta voidaan lähteä rakentamaan prototyyppiä koekäyttöä varten. Tulostuspää suunniteltiin siten, että sen muoviset osat voitaisiin valmistaa toimeksiantajan omalla 3D-tulostimella. Muut osat voitaisiin valmistaa alihankintatyönä tai omavalmisteisesti resursseista riippuen.



Kuva 18. Valmis konseptimalli uudesta tulostuspäädästä.

Työn tavoitteena oli suunnitella konseptimalli tulostuspäästä, joka olisi alkuperäistä mallia pienempi, kevyempi sekä tulostustarkkuudeltaan parempi. Vaatimuslistassa mainitut asiat saatiin toteutettua lukuun ottamatta kahta toivetta, jotka koskivat suuttimien ajonai-kaista korkeudensäätöä ja tulostettuun materiaaliin kohdistettua puhaltavaa jäähdytystä.

Suuttimien ajonaikaisen korkeudensäädön ideana oli passiivisen suuttimen törmäämi-sen estäminen tulostettavaan kappaleeseen. Perusmateriaalia tulostettaessa tukimate-riaalin suutin on passiivisessa tilassa, koska sitä ei tarvita. Tukimateriaalia tulostettaessa perusmateriaalin suutin on vastaavasti passiivinen. Työn alussa oletettiin, että passiivi-nen suutin saattaa törmätä tulostettavaan kappaleeseen vaurioittaen sitä ja mahdollisesti myös tulostuspäätäkin. Näin ollen suuttimien ajonaikainen korkeudensäätö oli yksi tär-keimmistä vaatimuksista työn alkuvaiheessa, minkä vuoksi sen suunnitteluunkin käytet-tiin paljon aikaa. Tämä ongelma pyrittiin ratkaisemaan ajonaikaisella korkeudensäätö-mekanismilla, jonka avulla passiivisessa tilassa oleva suutin voitaisiin nostaa operoivaa suutinta ylemmäs. Työn edetessä saatiin kuitenkin tietää, että tulostuspään suuttimet voivat olla samalla korkeudella törmäämättä tulostettavaan kappaleeseen. Tämän sel-vittyä suuttimien ajonaikainen korkeudensäätö muutettiin vaatimuslistassa toiveeksi, sillä se ei ollut välttämätön ominaisuus tulostuspään toiminnan kannalta.

Tulostettuun materiaaliin kohdistettu puhaltava jäähdytys oli asetettu toiveeksi työn vaa-timuslistassa ja sen toteutuksesta luovuttiin kiireellisen aikataulun vuoksi. Tulostettuun materiaaliin kohdistettu jäähdytys voisikin olla seuraava jatkokehityshanke. Muita mah-dollisia jatkokehittelyn aiheita voisi olla esimerkiksi jäähdytyksen optimointi ja tulostus-pään rungon topologinen optimointi.

Vaatimuslistassa mainittujen asioiden lisäksi tulostuspäästä saatiin tehtyä alkuperäistä tulostuspäätä pienempi. Alla olevasta taulukosta (taulukko 2) huomataan, että uusi tu-lostuspää on ulkomitoiltaan kaikilta osin pienempi leveyttä lukuun ottamatta. Leveyttä tuli 94,25 mm lisää, koska vetopyörien askelmoottorit asetettiin vastakkain. Askelmoottorien leveyssunnassa vievä tila ei kuitenkaan vaikuta tulostimen Y-liikkeen pituuteen, sillä as-kelmoottoreilla on vielä tilaa liikkua tulostusalustan reunoillakin. Teoreettista tulostusalu-etta saatiin kasvatettua X-suunnassa 5 mm, Y-suunnassa 18 mm ja Z-suunnassa 25,43 mm. Näin ollen uudella tulostuspäällä pystytään tulostamaan entistä suurempia kappaleita.

Taulukko 2. Alkuperäisen tulostuspään ja uuden tulostuspään kriittiset mitat.

	Alkuperäinen tulostuspää	Uusi tulostuspää	erotus
Pituus [mm]	178,50	156,50	22,00
Leveys [mm]	105,75	200,00	-94,25
Korkeus [mm]	92,28	86,70	5,58
Suutinväli [mm]	46,00	28,00	18,00
Korkeus [mm] *1	96,13	70,70	25,43
Suutinlinjan kohtisuora etäisyys kuularuuvista [mm] *2	73,00	68,00	5,00
Takaylitys [mm] *3	41,00	29,50	11,50
Etuylytys [mm] *4	98,50	83,00	15,50
Tulostusalue [mm] *5	850 x 450 x 450 (172,125 litraa)	855 x 468 x 475,43 (190,238 litraa)	18,1 litraa *6
*1. Korkeus on mitattu suuttimen alapinnasta Hiwin -johdekelkan alapintaan. *2. Etäisyys on mitattu suutinlinjojen välisestä fiktiivisestä tasosta kuularuuvin keskilinjaan. *3. Takaylitys on mitattu kuulamutterin korvakkeen takapinnasta tulostuspään taaimmaiseen kohtaan/pintaan. *4. Etuylytys on mitattu kuulamutterin korvakkeen etupinnasta tulostuspään etummaiseen kohtaan/pintaan. *5. Teoreettinen tulostusalue pituus-, leveys- ja korkeussuunnassa olettaen, että alkuperäisellä tulostuspäällä kyseiset mitat olivat 850 x 450 x 450. *6. Luku edustaa kasvaneen tulostusalueen tilavuuseroa.			

Opinnäytetyössä opittiin, kuinka tärkeää projektin aikatauluttaminen on ja miten paljon asioihin on perehdyttävä ennen toteutusta. Suunnittelun ja mallinnuksen aikana huomattiin, kuinka suuri merkitys on mallinnettavan kappaleen sijainnilla mallinnusohjelman avaruudessa. Mallinnettavan kappaleen sijainti origon suhteen kannattaa miettiä huolella, sillä se helpottaa mallintamista huomattavasti ja parhaassa tapauksessa sallii suurin muutos tekemisen mallinnuksen aikana. Työn loppuvaiheessa jouduttiin muun muassa muuttamaan keinun akselin paikkaa, joka onnistuikin moitteetta ja synnyttämättä mallissa minkäänlaisia virheitä. Mallinnuksesta opittiin myös, että kappaleen mitoituksella on suuri merkitys myöhemmin tehtävien muutoksen osalta. Esimerkiksi piirretyn mallin mitoittamisessa täytyi tarkkaan miettiä, mistä seikoista piirrettävä malli on riippuvainen. Kun malli on mitoitettu oikein, se on niin sanotusti parametrisoitu, mikä mahdollistaa myöhemmässä vaiheessa tehtävien muutosten tekemisen helposti.

## Lähteet

- 1 3D-tulostin omana työnä. 2017. Varsinais-Suomen Yrittäjä 18.5.2017, s. 50.
- 2 Akumat Oy:n taloustiedot. Verkkoaineisto. Suomen Asiakastieto Oy. <<https://www.asiakastieto.fi/yritykset/fi/akumat-oy/21643371/taloustiedot>>. Luettu 4.5.2018.
- 3 Bournias-Varotsis, Alkaios. 2018. Introduction to FDM 3D Printing. Verkkoaineisto. 3D Hubs. <<https://www.3dhubs.com/knowledge-base/introduction-fdm-3d-printing#/what>>. Luettu 30.4.2018.
- 4 Tervola, Janne. 2017. Suomalaiskeksintö 3d-tulostaa suoraan liukuhihnalle. Verkkoaineisto. Tivi. <[https://www.tivi.fi/Kaikki\\_uutiset/suomalaiskeksinto-3d-tulostaa-suoraan-liukuhihnalle-6681351](https://www.tivi.fi/Kaikki_uutiset/suomalaiskeksinto-3d-tulostaa-suoraan-liukuhihnalle-6681351)>. Päivitetty 7.10.2017. Luettu 4.5.2018.
- 5 3D-tulostus. 2018. Verkkoaineisto. Akumat Oy. <<http://www.akumat.fi/fi-3D-tulostus.html>>. Luettu 14.5.2018.
- 6 Omron D5A-3200 OMR HIGH-PRESCISION SWITCH M8. 2018. Verkkoaineisto. Elektramat BV. <<https://www.elektramat.nl/d5a-3200-omr-high-prescision-switch-m8/>>. Luettu 14.5.2018.
- 7 MULTISERT® - SINGLE THICKNESS HEAD – 003M6. 2018. Verkkoaineisto. Tappex Thread Inserts Limited. <<https://www.tappex.co.uk/products/inserts-plastics/multisert/?type=single-thickness-head&thread=M6&length=12.3&extras=large#selector>>. Luettu 14.5.2018.
- 8 iglidur® G, sleeve bearing with flange, mm. 2018. Verkkoaineisto. IGUS GmbH. <<https://www.igus.eu/product/64>>. Luettu 14.5.2018.

## Vaatimuslista

Muutokset	Vaatus [V] Toive [T]	Selite	Teknisiä tietoja
	V	1. Kaksi suutinta, joilla on mahdollista tulostaa samanlaisesti	perusmateriaalin suutin ja tukimateriaalin suutin
	V	2. Molemmille suuttimille oma mekaaninen korkeudensäätö	säätötarkkuus $\pm 0,01$ mm
Vaatus (V) muutettiin toiveeksi (T) 17.1.2018	T	3. Molemmille suuttimille ajonaikainen korkeudensäätö	korkeusero 0,2 - 0,5 mm. Korkeusero voidaan tehdä esim. pysty- tai keinuliikkeenä, jonka avulla levossa oleva suutin saataisiin nostettua operoivaa suutinta ylemmäs.
	V	4. Jäähdytys tulostuslangalle ennen sen syöttämistä suuttimelle	Jäähdytystehon on oltava niin tehokas, että se jäähdyttää sulan tulostusmateriaalin kiinteäksi ja estää sularintaman etenemisen suutinpukassa ylöspäin.
	T		Ilmajäähdytys voitaisiin korvata nestejäähdytyksellä. $\varnothing 8$ mm vesikanava, profiili: ympyrä
	T	5. Jäähdytys tulostetulle materiaalille	puhallin suunnattuna suuttimille, mikä mahdollistaisi "siltarakenteen" tulostamisen
	V	6. Lämmityselementit	Lämmityslementteihin täytyy saada kiinnitettyä lämmitysvastus, lämpötila-anturi ja suutin.
	V	7. Tulostuspään ja pöytätason tasomaisuuden mitta	Tulostuspöydän tasomaisuus on mitattava sen lämmityksen aiheuttaman lämpölaajenemisen takia.